

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
13. Februar 2003 (13.02.2003)

PCT

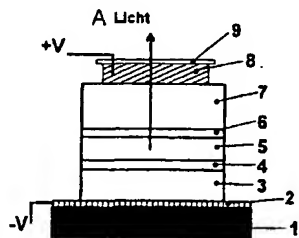
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 03/012890 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H01L 51/20 [DE/DE]; Dezernat 5, SG 5.1, Mommsenstrasse 13, 01069 Dresden (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/02467
- (22) Internationales Anmeldedatum: 5. Juli 2002 (05.07.2002)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 101 35 513.0 20. Juli 2001 (20.07.2001) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): LEO, Karl [DE/DE]; Hermannstrasse 5, D-01219 Dresden (DE). BLOCHWITZ-NIMOTH, Jan [DE/DE]; Louisenstrasse 8, 01099 Dresden (DE). PFEIFFER, Martin [DE/DE]; Scharfenberger Str. 1, 01139 Dresden (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN; SENDER, Frank, Dezernat 5, SG 5.1, 01062 Dresden (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DK, EE,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

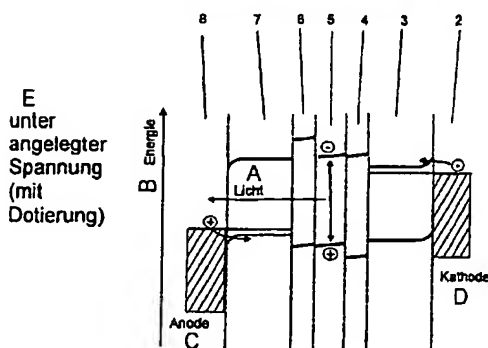
(54) Title: LIGHT EMITTING COMPONENT WITH ORGANIC LAYERS

(54) Bezeichnung: LICHEMITTIERENDES BAUELEMENT MIT ORGANISCHEN SCHICHTEN



(57) Abstract: The invention relates to a light emitting component with organic layers, especially an organic light-emitting diode, comprising a substrate (1), at least one light emitting layer (5), and at least one charge carrier transport layer for perforations (7), having a cathode (2) on the substrate and light emission arising through the anode (8). The invention is characterised in that the transport layer for the perforations (7) is p-doped with an organic material.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Lichtemittierendes Bauelement mit organischen Schichten, insbesondere organische Leuchtdiode, bestehend aus einem Substrat (1), wenigstens einer Licht emittierenden Schicht (5) und wenigstens einer Ladungsträgertransportschicht für Löcher (7), mit einer Kathode (2) am Substrat und einer durch die Anode (8) erfolgenden Lichtemission, dadurch gekennzeichnet, dass die Löchertransportschicht (7) mit einem organischen Material p-dotiert ist.



- A LIGHT  
B ENERGY  
C ANODE  
D CATHODE  
E WITH APPLIED VOLTAGE (WITHOUT DOPING)

WO 03/012890 A2



ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

- (84) **Bestimmungsstaaten (regional):** europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).

**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

## **Lichtemittierendes Bauelement mit organischen Schichten**

### **Beschreibung**

- 5 Die Erfindung betrifft ein lichtemittierendes Bauelement mit organischen Schichten, insbesondere eine organische Leuchtdiode nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Organische Leuchtdioden sind seit der Demonstration niedriger Arbeitsspannungen von Tang et al. 1987 [C.W. Tang et al., Appl. Phys. Lett. 51 (12), 913 (1987)] aussichtsreiche  
10 Kandidaten für die Realisierung großflächiger Displays. Sie bestehen aus einer Folge dünner (typischerweise 1nm bis 1µm) Schichten aus organischen Materialien, welche bevorzugt im Vakuum aufgedampft oder aus der Lösung z.B. durch Schleudern aufgebracht werden. Nach elektrischer Kontaktierung durch Metallschichten bilden organische Dünnschichten vielfältige elektronische oder optoelektronische Bauelemente, wie z.B. Dioden, Leuchtdioden,  
15 Photodioden und Transistoren, die mit ihren Eigenschaften den etablierten Bauelementen auf der Basis anorganischer Schichten Konkurrenz machen.

Im Falle der organischen Leuchtdioden (OLEDs) wird durch die Injektion von Ladungsträgern (Elektronen von der einen, Löcher von der anderen Seite) aus den Kontakten in die  
20 dazwischen befindlichen organischen Schichten infolge einer äußeren angelegten Spannung, der folgenden Bildung von Exzitonen (Elektron-Loch-Paaren) in einer aktiven Zone und der strahlenden Rekombination dieser Exzitonen, Licht erzeugt und von der Leuchtdiode emittiert.

Der Vorteil solcher Bauelemente auf organischer Basis gegenüber den konventionellen  
25 Bauelementen auf anorganischer Basis (Halbleiter wie Silizium, Galliumarsenid) besteht darin, dass es möglich ist, sehr großflächige Anzeigeelemente (Bildschirme, Screens) herzustellen. Die organischen Ausgangsmaterialien sind gegenüber den anorganischen Materialien relativ preiswert (geringer Material- und Energieaufwand). Obendrein können diese Materialien aufgrund ihrer gegenüber anorganischen Materialien geringen Prozeßtemperatur auf flexible  
30 Substrate aufgebracht werden, was eine ganze Reihe von neuartigen Anwendungen in der Display- und Beleuchtungstechnik eröffnet.

Die übliche Anordnung solcher Bauelemente stellt eine Folge aus einer oder mehrerer der folgenden Schichten dar:

1. Träger, Substrat,
2. Basiselektrode, löcherinjizierend (Pluspol), transparent,
3. Löcher injizierende Schicht,
4. Löcher transportierende Schicht (HTL),
- 5 5. Licht emittierende Schicht (EL),
6. Elektronen transportierende Schicht (ETL),
7. Elektronen injizierende Schicht,
8. Deckelektrode, meist ein Metall mit niedriger Austrittsarbeit, elektroneninjizierend (Minuspole),
- 10 9. Kapselung, zum Ausschluß von Umwelteinflüssen.

Dies ist der allgemeinste Fall, meistens werden einige Schichten weggelassen (außer 2., 5. und 8.), oder aber eine Schicht kombiniert in sich mehrere Eigenschaften.

Der Lichtaustritt erfolgt bei der beschriebenen Schichtfolge durch die transparente  
15 Basiselektrode und das Substrat, während die Deckelektrode aus nicht transparenten Metallschichten besteht. Gängige Materialien dafür sind Indium-Zinn-Oxid (ITO) und verwandte Oxidhalbleiter als Injektionskontakt für Löcher (ein transparenter entarteter Halbleiter). Für die Elektroneninjektion kommen unedle Metalle wie Aluminium (Al), Magnesium (Mg), Kalzium (Ca) oder eine Mischschicht aus Mg und Silber (Ag) oder solche  
20 Metalle in Kombination mit einer dünnen Schicht eines Salzes wie Lithiumfluorid (LiF) zum Einsatz.

Für viele Anwendungen ist es jedoch wünschenswert, dass die Lichtemission nicht zum Substrat hin, sondern durch die Deckelektrode erfolgt. Beispiele hierfür sind Displays auf der  
25 Basis organischer Leuchtdioden, die auf Siliziumsubstraten oder Plastiksubstraten aufgebaut werden (z.B. US Patent Nr. 5,736,754 (S.Q. Shi et al.), eingereicht am 17. 11. 1995; US Patent Nr. 5,693,956 (S.Q. Shi et al.), eingereicht am 29.6.1996), bzw. Displays, bei denen eine strukturierte Filterschicht oder Absorberschicht auf die organischen Leuchtdioden aufgebracht werden soll (z.B. US Patent Nr. 6,137,221 (D.B. Roitman et al.), eingereicht am  
30 8. 7. 1998; C. Hosokawa et al., Synthet. Metal., 91, 3-7 (1997); G. Rajeswaran et al., SID 00 Digest, 40.1 (2000)).

Diese Emission durch die Deckelektrode kann für die oben beschriebene Reihenfolge der

organischen Schichten (Deckelektrode ist die Kathode) dadurch erreicht werden, dass eine sehr dünne herkömmliche Metallelektrode aufgebracht wird. Da diese bei einer Dicke, welche hinreichend hohe Transmission aufweist, noch keine hohe Querleitfähigkeit erreicht, muss darauf noch ein transparentes Kontaktmaterial aufgebracht werden, z.B. ITO oder Zink dotiertes Indium-Oxid (z.B. US Patent Nr. 5,703,436 (S.R. Forrest et al.), eingereicht am 6.3.1996; US Patent Nr. 5,757,026 (S.R. Forrest et al.), eingereicht am 15.4.1996; US Patent Nr. 5,969,474 (M. Arai), eingereicht am 24.10.1997). Weitere bekannte Realisierungen dieser Struktur sehen eine organische Zwischenschicht zur Verbesserung der Elektronen-Injektion vor (z.B. G. Parthasarathy et al., Appl. Phys. Lett. 72, 2138 (1997); G. Parthasarathy et al., Adv. Mater. 11, 907 (1997)), welche teilweise durch Metallatome wie Lithium dotiert sein kann (G. Parthasarathy et al., Appl. Phys. Lett., 76, 2128 (2000)). Auf diese wird dann eine transparente Kontaktschicht (meistens ITO) aufgebracht. Allerdings ist ITO schlecht zur Elektroneninjektion geeignet (Kathode), was die Betriebsspannungen einer solchen LED erhöht.

15

Die alternative Möglichkeit zur transparenten Kathode besteht im Umdrehen der Schichtreihenfolge, also der Ausführung des löcherinjizierenden transparenten Kontaktes (Anode) als Deckelektrode. Die Realisierung solcher invertierter Strukturen mit der Anode auf der LED bereitet in der Praxis jedoch erhebliche Schwierigkeiten. Metallelektroden, die eine akzeptable Transparenz aufweisen, müssen hinreichend dünn sein, so dass sich oft keine geschlossene Schicht bildet bzw. die Querleitfähigkeit nicht ausreicht, um einen homogenen Stromfluß durch das Bauelement herbeizuführen. Wenn die Schichtfolge durch die löcherinjizierende Schicht abgeschlossen wird, so ist es erforderlich, das gebräuchliche Material für die Löcherinjektion ITO (oder ein alternatives Material) auf die organische Schichtfolge aufzubringen (z.B. US Patent Nr. 5,981,306 (P. Burrows et al.), eingereicht am 12.9.1997). Dies verlangt meist Prozeßtechnologien, die mit den organischen Schichten schlecht verträglich sind und unter Umständen zur Beschädigung führen. Eine Verbesserung können hier Schutzschichten erzielen, welche aber die Betriebsspannung des Bauelementes wieder erhöhen, da sie die gesamte organische Schichtdicke erhöhen (US Patent Nr. 6,046,543 (V. Bulovic et al.), eingereicht am 23.12.1996; Z. Shen, Science 276, 2009 (1997)).

30

Ein noch wesentlich schwerer wiegender Nachteil ist die Tatsache, dass die herkömmliche Herstellungsmethode der Leuchtdioden verlangt, dass die löcherinjizierende Schicht eine

möglichst hohe Austrittsarbeit aufweist. Dies ist notwendig, da die organischen Schichten nominell undotiert sind und deswegen eine effiziente Injektion nur möglich ist, wenn eine möglichst niedrige Potentialbarriere vorhanden ist. Zur Erzielung niedriger Betriebsspannungen und hoher Effizienzen ist es deswegen notwendig, eine spezifische Präparation der Oberfläche des löcherinjizierenden Materials vorzunehmen (z.B. C.C. Wu et al., Appl. Phys Lett. 70, 1348  
5 (1997); G. Gu et al., Appl. Phys. Lett. 73, 2399 (1998)). Die Austrittsarbeit von ITO kann z.B. durch Ozonierung und/oder Sauerstoff-Plasma Veraschung von ca. 4.2eV bis zu ca. 4.9eV verändert werden. Dies hat einen großen Einfluß auf die Effizienz der Löcherinjektion und damit die Betriebsspannung einer OLED. Beim Aufbringen des löcherinjizierenden Materials  
10 auf die organischen Schichten können diese Methoden der Oberflächenpräparation nicht angewandt werden. Dies hat dazu geführt, dass bei invertierten organischen Leuchtdioden die Betriebsspannungen gewöhnlich wesentlich höher sind, was zu niedrigeren Leistungseffizienzen (Lichtemission im Verhältnis zur elektrischen Leistung) führt (z.B. V. Bulovic et al., Appl. Phys. Lett. 70, 2954 (1997)).

15

Aus den genannten Gründen existiert bisher noch keine invertierte Struktur, welche gleich gute optoelektronische Kenndaten aufweist wie eine entsprechende nicht-invertierte Struktur. Das heisst, dass die Betriebsspannungen solcher invertierter OLEDs höher und die Effizienzen niedriger sind im Vergleich zu OLEDs mit herkömmlichem Schichtaufbau.

20

Die invertierte Anordnung erlaubt eine einfache Integration der OLED mit Standard-Treiberelektronik, wie CMOS-Technologie mit amorphen Si-NFETs. Darüber hinaus hat die Anordnung der Kathode unterhalb der organischen Schichten den Vorteil, dass sie besser vor Umwelteinflüssen wie Sauerstoff und Wasser geschützt ist. Wie bekannt hat dies negative  
25 Einflüsse auf die Langzeitstabilität, z.B. durch Ablöseerscheinungen der Deckelektrode. Da das klassische löcherinjizierende transparente Anodenmaterial ITO bereits selbst Sauerstoff enthält, sollten diese Effekte bei einer invertierten Struktur reduziert werden können. Ein weiterer Vorteil der invertierten Struktur besteht darin, dass als Substrat ein sehr flaches Halbleitersubstrat verwendet werden kann, während bei der klassischen Struktur mit ITO als  
30 Grundkontakt eine gewisse Reistrahigkeit des ITO nicht vermieden werden kann. Dies kann aufgrund von Pin-Holes (partiellen Durchkontaktierungen) zu Problemen mit der Langzeitstabilität führen.

Für Leuchtdioden aus anorganischen Halbleitern ist seit langem bekannt, dass durch hochdotierte Randschichten dünne Raumladungszonen erreicht werden können, die auch bei vorhandenen energetischen Barrieren durch Tunneln zu effizienter Injektion von Ladungsträgern führen. Die Dotierung organischer Materialien wurde im US Patent Nr. 5,093,698, eingereicht am 12.2.1991, beschrieben. Dies führt aber bei praktischen Anwendungen zu Problemen mit der Energieangleichung der verschiedenen Schichten und Verminderung der Effizienz der LEDs mit dotierten Schichten. Dies kann durch die Wahl geeigneter Blockschichten verbessert werden (Patent Anmeldung DE 100 58 578.7, eingereicht am 25.11.2000).

10

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine durch den Deckkontakt Licht emittierende invertierte organische Leuchtdiode anzugeben, die mit einer verringerten Betriebsspannung betrieben werden kann und eine erhöhte Lichtemissionseffizienz aufweist. Gleichzeitig soll der Schutz aller organischer Schichten vor Schäden infolge der Herstellung des transparenten Deckkontaktes gewährleistet sein (als transparent werden im Sinne der Erfindung alle Schichten mit einer Transmission von >50% im Bereich der Lichtemission der OLED bezeichnet).

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe in Verbindung mit den im Oberbegriff des Anspruchs 1 genannten Merkmalen dadurch gelöst, dass die Löchertransportschicht mit einem organischen Material p-dotiert ist. Die Transportschicht kann dabei höhere Schichtdicken aufweisen als es bei undotierten Schichten möglich ist (typischerweise 20-40nm), ohne die Betriebsspannung drastisch zu erhöhen.

Durch die p-dotierte Löchertransportschicht an der Anode zu dem löcherinjizierenden Material wird eine dünne Raumladungszone erreicht, durch die die Ladungsträger effizient injiziert werden können. Aufgrund der Tunnelinjektion wird durch die sehr dünne Raumladungszone die Injektion auch bei einer energetisch hohen Barriere nicht mehr behindert. Vorteilhaft ist die Ladungsträgertransportschicht durch eine Beimischung einer organischen oder anorganischen Substanz (Dotand) dotiert. Durch die erhöhte Leitfähigkeit der dotierten organischen Schicht kann diese dick genug ausgeführt sein, um alle darunterliegenden Schichten vor Schäden infolge der Herstellung des transparenten Deckkontaktes zu schützen.

Aus X. Zhou et al., Appl. Phys. Lett. 78, 410 (2001)) ist bekannt, dass organische Leuchtdioden mit dotierten Transportschichten nur effiziente Lichtemission zeigen, wenn die dotierten Transportschichten auf geeignete Weise mit Blockschichten kombiniert werden. In einer vorteilhaften Ausführungsform werden deshalb die invertierten Leuchtdioden ebenfalls mit Blockschichten versehen. Die Blockschicht befindet sich jeweils zwischen der Ladungsträgertransportschicht und einer lichtemittierenden Schicht des Bauelementes, in welcher die Umwandlung der elektrischen Energie der durch Stromfluß durch das Bauelement injizierten Ladungsträger in Licht stattfindet. Die Substanzen der Blockschichten werden erfindungsgemäß so gewählt, daß sie bei angelegter Spannung (in Richtung der Betriebsspannung) aufgrund ihrer Energieniveaus die Majoritätsladungsträger (HTL-Seite: Löcher, ETL-Seite: Elektronen) an der Grenzschicht dotierte Ladungsträgertransportschicht/Blockschicht nicht zu stark behindert wird (niedrige Barriere), aber die Minoritätsladungsträger effizient an der Grenzschicht Licht emittierende Schicht/Blockschicht aufgehalten werden (hohe Barriere).

15

Eine vorteilhafte Ausführung einer Struktur einer erfindungsgemäßen invertierten OLED beinhaltet folgende Schichten:

1. Träger, Substrat,
2. Elektrode, meist ein Metall mit niedriger Austrittsarbeit, elektroneninjizierend (Kathode=Minuspole),
3. n-dotierte, Elektronen injizierende und transportierende Schicht,
4. dünne elektronenseitige Blockschicht aus einem Material dessen Bandlagen zu den Bandlagen der sie umgebenden Schichten passt,
5. lichtemittierende Schicht (evtl. mit Emitterfarbstoff dotiert),
6. löcherseitige Blockschicht (typischerweise dünner als Schicht 7) aus einem Material, dessen Bandlagen zu den Bandlagen der sie umgebenden Schichten passt,
7. p-dotierte Löcher injizierende und transportierende Schicht,
8. Elektrode, löcherinjizierend (Anode=Pluspol), vorzugsweise transparent,
9. Kapselung, zum Ausschluß von Umwelteinflüssen.

30

Es ist auch im Sinne der Erfindung, wenn nur eine Blockschicht Verwendung findet, weil die Bandlagen der injizierenden und transportierenden Schicht und der Lichtemissionsschicht bereits auf einer Seite zueinander passen. Auch kann unter Umständen nur eine Seite (löcher-



oder elektronenleitende) dotiert sein. Des weiteren können die Funktionen der Ladungsträgerinjektion und des Ladungsträgertransports in den Schichten 3 und 7 auf mehrere Schichten aufgeteilt sein, von denen mindestens eine dotiert ist. Wenn die dotierte Schicht sich nicht unmittelbar an der jeweiligen Elektrode befindet, so müssen alle Schichten zwischen der dotierten Schicht und der jeweiligen Elektrode so dünn sein, dass sie effizient von Ladungsträgern durchtunnelt werden können. Diese Schichten können dicker sein, wenn sie eine sehr hohe Leitfähigkeit aufweisen (der Bahnwiderstand dieser Schichten muss geringer sein als der der benachbarten dotierten Schicht). Dann sind die Zwischenschichten im Sinne der Erfindung als ein Teil der Elektrode zu betrachten. Die molaren Dotierungskonzentrationen liegen typischerweise im Bereich von 1:10 bis 1:10000. Falls die Dotanden wesentlich kleiner sind als die Matrixmoleküle, können in Ausnahmefällen auch mehr Dotanden als Matrixmoleküle in der Schicht sein (bis 5:1). Die Dotanden können organisch oder anorganisch sein.

Die Erfindung wird nachfolgend an Hand von Ausführungsbeispielen noch näher erläutert. In den Zeichnungen ist folgendes dargestellt:

Bild 1 ein Energiediagramm einer invertierten OLED in der bisher üblichen Ausführungsform (ohne Dotierung, die Zahlenangaben beziehen sich auf die oben beschriebene Schichtstruktur einer invertierten OLED),

Bild 2 ein Energiediagramm einer invertierten dotierten OLED mit Blockschichten.

In der in Bild 1 gezeigten Ausführungsform tritt keine Raumladungszone am löcherinjizierenden Kontakt auf. Diese Ausführung verlangt nach einer niedrigen energetischen Barriere für die Löcherinjektion. Dies kann unter Umständen mit verfügbaren Materialien nicht erreicht werden. Die Injektion von Löchern aus der Anode ist daher nicht so effektiv wie für die herkömmliche Struktur, bei der die Anode hinsichtlich ihrer Austrittsarbeit modifiziert werden kann. Die OLED weist eine erhöhte Betriebsspannung auf.

Erfindungsgemäß wird der Nachteil der bisherigen Strukturen durch invertierte OLEDs mit dotierten Injektions- und Transportschichten, ggf. in Verbindung mit Blockschichten, vermieden. Bild 2 zeigt eine entsprechende Anordnung. Hierbei ist die löcherinjizierende und – leitende Schicht 7 dotiert, so dass sich an der Grenzschicht zum Kontakt (Anode 8) eine

Raumladungszone ausgebildet. Bedingung ist, dass die Dotierung hoch genug ist, dass diese Raumladungszone leicht durchtunnelt werden kann. Dass solche Dotierungen möglich sind, wurde in der Literatur für nicht invertierte Leuchtdioden bereits gezeigt (X.Q. Zhou et al., Appl. Phys. Lett. 78, 410 (2001); J. Blochwitz et al., Organic Electronics (2001), in press)

5

Diese Anordnung zeichnet sich durch folgende Vorzüge aus:

- hervorragende Injektion der Ladungsträger von der Anode in die p-dotierten Ladungsträgertransportschichten
- Unabhängigkeit von der detaillierten Präparation des löcherinjizierenden Materials 8
- 10 • Möglichkeit, für Schicht 8 auch ein Material mit vergleichsweise hoher Barriere für die Löcherinjektion zu wählen.

Als ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel soll hier eine Lösung angegeben werden, bei der nur auf der Löcherseite die Kombination aus p-dotierter Injektions- und Transportschicht und  
15 Blockschicht eingesetzt wird. Die OLED weist folgende Schichtstruktur auf:

- Substrat 1, z.B. Glas,
- Kathode 2: 1nm LiF in Kombination mit Aluminium (LiF verbessert die Injektion am Kontakt),
- 20 - elektrolumineszierende und (in diesem Fall) herkömmliche elektronenleitende Schicht 5:  
65nm Alq<sub>3</sub>, evtl. zu ersetzen durch 30nm Alq<sub>3</sub> und 15nm Alq<sub>3</sub>, dotiert mit ca. 1% eines Emitterfarbstoffs wie Quinacridon,
- löcherseitige Blockschicht 6: 5nm Triphenyldiamin (TPD),
- p-dotierte Schicht 7: 100nm Starburst TDATA 50:1 dotiert mit F<sub>4</sub>-TCNQ,
- 25 - transparente Elektrode (Anode 8): Indium-Zinn-Oxid (ITO).

Die gemischte Schicht 7 wird in einem Aufdampfprozeß im Vakuum in Mischverdampfung hergestellt. Prinzipiell können solche Schichten auch durch andere Verfahren hergestellt werden, wie z.B. einem Aufeinanderdampfen der Substanzen mit anschließender  
30 möglicherweise temperaturgesteuerter Diffusion der Substanzen ineinander; oder durch anderes Aufbringen (z.B. Aufschleudern) der bereits gemischten Substanzen im oder außerhalb des Vakuums. Die Blockschicht 6 wurde ebenfalls im Vakuum aufgedampft, kann aber auch anders hergestellt werden, z.B. durch Aufschleudern innerhalb oder außerhalb des Vakuums.

In einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel kann sich zusätzlich zwischen der Kathode 2 und der elektrolumineszierenden Schicht 5 eine n-dotierte Schicht 3 befinden. Die Dotierung kann, wie oben beschrieben, durch eine Mischverdampfung zweier organischer Materialien (Molekülsorten) oder durch Einbringung von Metallatomen in die organische Schicht bestehen (wie in Patent Anmeldung DE 100 58 578.7, eingereicht am 25.11.2000, beschrieben). Als erfindungskonformes Beispiel sei hier die Dotierung von Alq<sub>3</sub> mit Li genannt (Patent US 6,013,384 (J. Kido et al.), eingereicht am 22.1.1998; J. Kido et al., Appl. Phys. Lett. 73, 2866 (1998)). Durch die erfindungsgemäße Anwendung einer solchen Schicht in einer invertierten OLED-Struktur wird der positive Effekt einer Lithium-fluorit Schicht zwischen der elektronentransportierenden Schicht und der Metallschicht der Kathode, welcher bei einem nicht invertierten Aufbau der OLED erreicht wird (hier ist das Aufdampfen „heißer“ Metallatome auf LiF wichtig um den gewünschten Effekt auf die Elektroneninjektion zu erreichen, siehe z.B. M.G. Mason, J. Appl. Phys. 89, 2756 (2001)), auch für die invertierte Struktur erreicht. Die LiF Schicht senkt die Austrittsarbeit des Kathodenmaterials (hier Aluminium) und die Li Dotierung der elektronentransportierenden Schicht (typischerweise und erfindungskonform in einer Konzentration zwischen 5:1 und 1:10 Li-Atome zu Alq<sub>3</sub>-Moleküle) ermöglicht eine Bandverbiegung an der Grenzfläche zur Kathode, welche eine effiziente Injektion von Elektronen erlaubt, analog zum Falle der Löcherinjektion in die p-dotierte Löchertransportschicht.

20

Die erfindungskonforme Anwendung dotierter Schichten erlaubt es, die gleichen niedrigen Betriebsspannungen und hohen Effizienzen in einer invertierten Struktur mit Lichtemission durch den Deckkontakt zu erreichen wie sie bei einer herkömmlichen Struktur mit Emission durch das Substrate auftreten. Dies liegt, wie beschrieben, an der effizienten Löcherinjektion, welche dank der Dotierung relativ unabhängig von der exakten Austrittsarbeit des transparenten Anodenmaterials ist. Damit lassen sich hocheffiziente Displays auf herkömmlichen Halbleitersubstraten aufbauen.

Obwohl nur einige bevorzugte Anwendungen beschrieben worden sind, ist es für den Fachmann offensichtlich, dass viele Modifikationen und Variationen der vorgestellten Erfindung möglich sind, welche im Sinne der Erfindung sind. Zum Beispiel können andere transparente Kontakte als ITO als Anodenmaterialien verwendet werden (z.B. wie in H. Kim et al., Appl. Phys. Lett. 76, 259 (2000); H. Kim et al., Appl. Phys. Lett. 78, 1050 (2001)).

30

Weiterhin wäre es erfindungskonform die transparente Anode aus einer hinreichend dünnen Schicht eines nicht transparenten Metalles (z.B. Silber oder Gold) und einer dicken Schicht eines transparenten leitfähigen Materials zusammenzusetzen.

**Bezugszeichenliste**

- 1 - Substrat
- 2 - Kathode
- 5 3 - Elektronentransportschicht
- 4 - Blockschicht
- 5 - lichtemittierende Schicht
- 6 - Blockschicht
- 7 - Löchertransportschicht
- 10 8 - Anode
- 9 - Schutzschicht

**Patentansprüche**

1. Lichtemittierendes Bauelement mit organischen Schichten, insbesondere organische  
Leuchtdiode, bestehend aus einem Substrat (1), wenigstens einer Licht emittierenden  
5 Schicht (5) und wenigstens einer Ladungsträgertransportschicht für Löcher (7), mit einer  
Kathode (2) am Substrat und einer durch die Anode (8) erfolgenden Lichtemission,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass die Löchertransportschicht (7) mit einem organischen  
Material p-dotiert ist.
- 10 2. Lichtemittierendes Bauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen  
der Löchertransportschicht (7) und der Licht emittierenden Schicht (5) eine Blockschicht  
vorgesehen ist.
3. Lichtemittierendes Bauelement nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass  
15 zwischen der Kathode (2) und der Licht emittierenden Schicht (5) eine  
Elektronentransportschicht (3) vorgesehen ist.
4. Lichtemittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Elektronentransportschicht (3) dotiert ist.
- 20 5. Lichtemittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet,  
dass eine Blockschicht (4) zwischen der Elektronentransportschicht (3) und der  
lichtemittierenden Schicht (5) und eine Blockschicht (6) zwischen der lichtemittierenden  
Schicht (5) und der p-dotierten Löchertransportschicht (7) vorgesehen ist.
- 25 6. Lichtemittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet,  
dass zwischen Elektronentransportschicht (3) und Kathode (2) und/oder zwischen der  
Anode (8) und der Löchertransportschicht (7) jeweils eine kontaktverbessernde Schicht  
vorgesehen sind.
- 30 7. Lichtemittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet,  
dass eine elektroneninjizierende Kathode (2) auf einem transparenten Substrat (1)  
vorgesehen ist.

8. Lichtemittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die lichtemittierende Schicht (5) eine Mischschicht aus mehreren Materialien ist.
- 5 9. Lichtemittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die p-dotierte Löchertransportschicht (7) aus einer organischen Hauptschicht und einer akzeptorartigen Dotierschicht besteht.
- 10 10. Lichtemittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Anode (8) transparent oder semitransparent und mit einer Schutzschicht (9) versehen ist.
- 15 11. Lichtemittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Anode (8) metallisch und so dünn ausgebildet ist, dass sie semitransparent ist.
- 20 12. Lichtemittierendes Bauelement nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass über der semitransparenten metallischen Anode (8) eine weitere transparente Kontaktschicht zur Erhöhung der Querleitung aufgebracht ist.
13. Lichtemittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die elektronentransportierende Schicht (3) durch die Mischung einer organischen Hauptschicht und einer donatorartigen Dotierschicht n-artig dotiert ist.
- 25 14. Lichtemittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Reihenfolge aus p-dotierter Löchertransportschicht (7) und transparenter Anode (8) mehrfach in einem Bauelement vorgesehen ist.
- 30 15. Lichtemittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die molare Konzentration der Beimischung in der Löchertransportschicht (7) und/oder in der Elektronentransportschicht (3) im Bereich 1:100.000 bis 5:1 bezogen auf das Verhältnis Dotierungsmoleküle zu Hauptschichtmoleküle liegt.

16. Lichtemittierendes Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Schichtdicken der Löchertransportschicht (7), der Elektronentransportschicht (3), der elektrolumineszierenden Schicht (5) und der
- 5      Blockschichten (4,6) im Bereich 0.1nm bis 50µm liegt.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen



unter  
angelegter  
Spannung  
(ohne  
Dotierung)

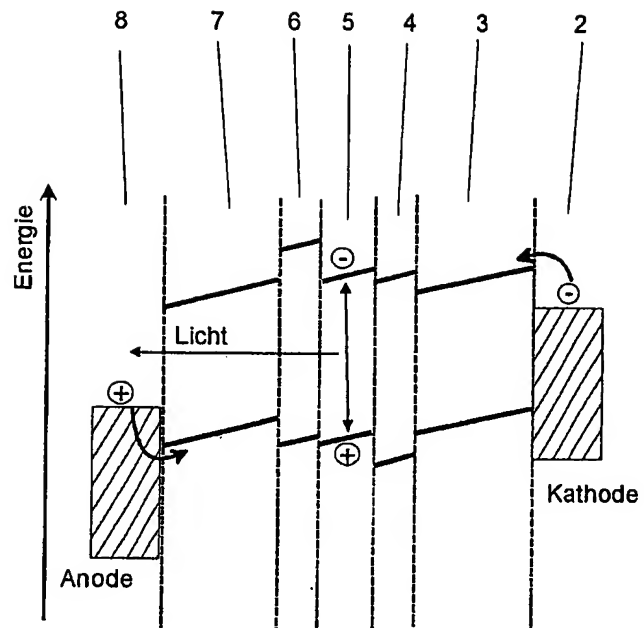


Bild 1

unter  
angelegter  
Spannung  
(mit  
Dotierung)

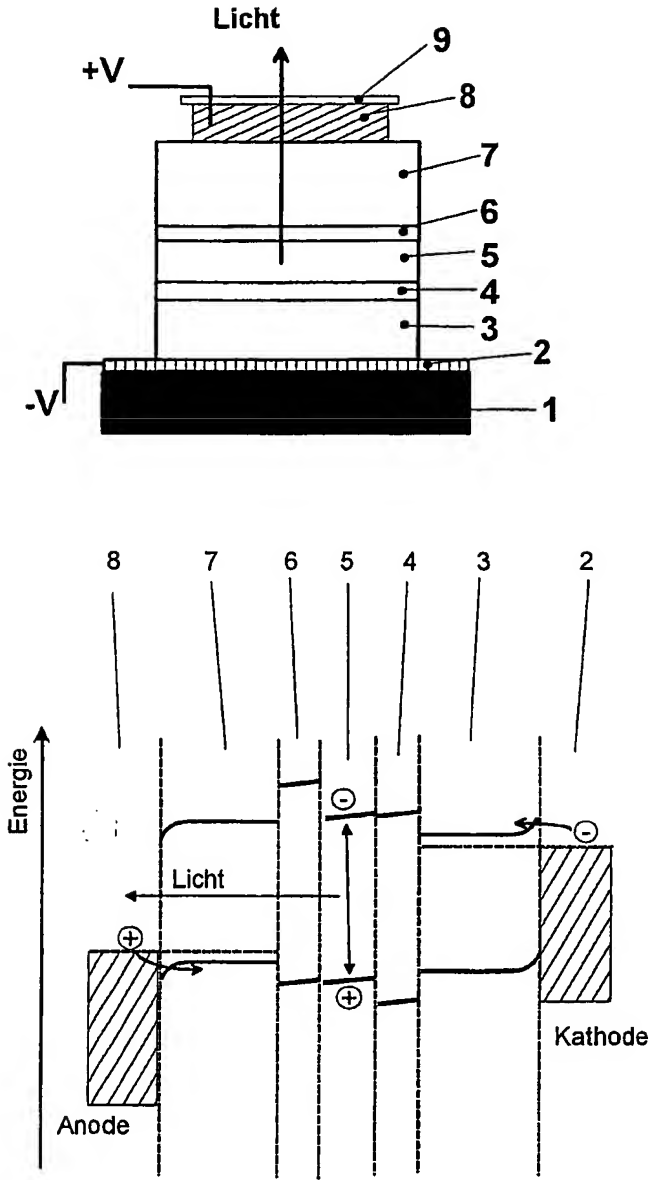


Bild 2